

近業時の注意配分に関する研究

—— 随伴陰性変動（CNV）を用いた

判別難度の異なる視標に対する注意量の評価 ——

高 橋 ひとみ

緒言 Introduction

「学校における視力検査は個々の児童生徒が学習に支障ない見え方（視力）であるかどうかの検査である¹⁾」。視力検査には「5 m先のランドルト環の切れ目を判別する」遠見視力検査と「眼前 30 cmのランドルト環の切れ目を判別する」近見視力検査がある。現在学校では、「教室のどこから見ても黒板の文字が見える視力が必要」として、5 m先のランドルト環の切れ目を判別する遠見視力検査が行われている。近年、Information and Communication Technology（ICT）社会を迎え、学校教育においてもコンピューターが活用されるようになり、黒板中心の学習からVisual Display Terminal（VDT）学習へと変化してきた。

政府はICT教育を推進し、「2019 年度までに、全ての児童生徒に情報端末を配備する計画を打ち出している²⁾」。すなわち、「学習に支障ない見え方（視力）」を検査するためには、「黒板の文字を判読する」遠見視力の検査に加えて「教科書・コンピュータ画面の文字を判読する」近見視力の検査が必要である。2006 年来、高橋らは、近見視力検査導入の重要性を提言してき

1) 宇津見義一、衛藤隆（編）、学校医・学校保健ハンドブッカー必要な知識と視点のすべて一、文光堂、2006、p 257.

2) 読売新聞朝刊、2013 年 6 月 29 日付

キーワード：近見視力、近距離単独視標、随伴陰性変動（CNV）、注意、作業能率

た。そのために、現行の遠見視力検査では発見できない近見視力不良者の「割合」および「学習能率との関連」を報告してきた^{3)~8)}。

近業においては、毛様体筋を緊張させ、網膜上に焦点を合わせる⁹⁾。毛様体筋は副交感神経支配下にあり、毛様体筋の緊張が継続すると副交感神経は興奮状態になる。その結果、自律神経機能が低下して、呼吸・心拍・体温などに変調をきたし、意欲の減退、注意・集中力の低下を招き、作業（学習）能率は低下する¹⁰⁾。視標に向けられる注意の状態を分析できたなら、近業時の負担を示すことができる。音・光などの感覚刺激や指の屈曲のような運動反応に対応して、事象関連電位Event-Related Potential (ERP) が生じる¹¹⁾。そして、ERPの1つである随伴陰性変動Contingent Negative Variation (CNV) は、心的活動や意識動作に反応するから、期待や注意などの心理状態の度合を定量化することができる¹²⁾。

「CNVは二つ1組の刺激（予告刺激S1と命令刺激S2）を一定の刺激間隔Interval Inter-stimulus Interval (ISI) で提示し、S2後にボタン押し運動を行うパラダイム（前置時間固定の反応時間課題）で前頭中心部優位に出現する

-
- 3) 高橋ひとみ, 子どもの近見視力不良—黒板は見えても教科書が見えない子どもたち—, 農山漁村文化協会, 2008, pp 53-57.
 - 4) 高橋ひとみ, 衛藤隆, 近見視力と学習能率の関連 (1), 東京大学大学院教育学研究科紀要 46, 2007, pp 347-357.
 - 5) 高橋ひとみ, 学校健康診断へ近見視力検査の導入を目指して, 日本眼鏡技術研究会雑誌 71, 2007, pp 38-41.
 - 6) 高橋ひとみ, 川端秀仁, 衛藤隆, 健康診断へ近見視力検査を導入する意義と有効性, 日本医事新報 43 (25), 2007, pp 81-84.
 - 7) 高橋ひとみ, 川端秀仁, 衛藤隆, 近見視力検査の導入に向けて (5), 眼科臨床紀要第5巻第5号, 日本小児眼科学会, 2012, pp 459-465.
 - 8) 高橋ひとみ, 近見視力検査の意義, 特集: 近見視力検査を進めよう—子どもの目を守るために—, 心とからだの健康, 第17巻10号, 健学社, 2013, pp 14-17.
 - 9) 横澤一彦, 視覚科学, 勁草書房, 2010, pp 2-4.
 - 10) 所敬, 吉田晃敏 (編), 現代の眼科学改訂版第9版—IT眼症発症のメカニズム—, 金原出版, 2009.
 - 11) 入戸野宏, 心理学のための事象関連電位ガイドブック, 北大路書房, 2009, p 1.
 - 12) 畑田豊彦, 映像情報メディア学会 (編), 注意と視覚探索, 視覚心理入門—基礎から応用視覚まで—, オーム社, 2006, p 177.

陰性緩電位変動である¹³⁾」。その発生機構は、「皮質上では、S1からS2へ時間が経過するとともにヒト前頭部眼窩面から運動領に向けて斑状の電位の流れがみられ、これらの電位が集積されてCNVを形成する。皮質内では、錐体細胞の尖頭樹状突起と細胞体部で発生する電位勾配が皮質内双極子を形成し、尖頭樹状突起部の興奮性シナプス後電位が皮質表面陰性電位を生じる。皮質下での神経構造では、皮質CNVに先行あるいは随伴する緩電位変動がヒトやサルで記録され¹⁴⁾」る。

英国人Walterは、1964年に発表したNature誌の中で「CNVに反映される主な脳活動は注意に関するものである¹⁵⁾」と報告し、多数の論文によって支持されてきた。

そこで、近見視力不良者の疲労や作業能率を明らかにするために、「近見視力不良者の近業時の注意量を定量化する」ことを考えた。近見視力が強く係わる作業（近業）時には、視対象への注意の配分量が、疲労や学習能率の影響因子になると考えられるからである。具体的には、判別困難な視標に向けられる注意量をCNVを使って評価する実験である。

注意は、個体にとって最も有用な情報を選択して、より迅速で精細な分析を可能にするために働く。なかでも、「視覚性注意は網膜に到達した情報のうち必要なものを時々刻々選択し処理を進める¹⁶⁾」。具体的には、視野内の空間位置や対象物を選択する機能を働かせて、感度・解像度などを高め、情報処理を促進させる。

近業においては、眼前の「見えにくい文字」を判読する時に、注意力を高めて情報の有用性を判断し情報処理を行っている、と推察される。

本研究では、近見視力検査に用いられる視標の判別困難度の違いが視標へ

13) 丹羽真一、鶴紀子、CNV、事象関連電位—事象関連電位と神経情報科学の発展—、新興医学出版社、1997、p 96.

14) 前掲書 13)、p 99.

15) Walter WG, Cooper R, Aldridge VJ, McCallum WC., : Contingent negative variation : an electric sign of sensorimotor association and expectancy in the human brain. Nature 203 : 380–384. 1964.

16) 鈴木匡子、視覚性認知の神経心理学、医学書院、2006、p 66.

の注意配分量に及ぼす影響について、CNVを用いて検討した。作業仮説は、「判別困難な視標を判別する場合には、CNV振幅が増大する」である。

方法 Materials and methods

被験者 Subjects

被験者は、健康な若年成人12名（男性3名、女性9名）である。被験者の年齢の平均値および標準偏差は 24.2 ± 10.0 歳であり、すべての被験者について、聴力と視力（矯正視力）が正常であることを確認した。また、いずれの被験者にも神経学的および眼科学的疾患は認められなかった。金沢大学の倫理委員会によって承認された実験プロトコルについての説明の後に、ヘルシンキ宣言に基づいて、全被験者からインフォームドコンセントを得た。

機器 Apparatus

脳波（EEG）を記録するために、銀-塩化銀（Ag/AgCL）皿電極（直径8 mm）を探索電極として国際10-20法のFz、CzおよびPzに、基準電極として両耳朶に、接地電極としてFpzに装着した。垂直方向の眼電図（EOG）を記録するために、右眼の上下に粘着性ゲルのついたAg/AgCL表面電極（直径30 mm、記録部分の直径13 mm、P-00-S, Ambu, Demark）を取り付けた。また、同電極を用いて、双極導出法による表面筋電図（EMG）を両側の僧帽筋（TRA）と右手の尺側手根屈筋（FCU）から記録した。表面電極は、皮膚をアルコールにて清拭した後、剃刀で産毛を除去し、電極間距離を3 cmとして筋の長軸に沿って貼り付けた。すべての電極の入力抵抗は、5 k Ω 未満とした。電極からの信号は、生体アンプ（Biotop 6 R 12: NEC-Sanei, Japan）によって増幅（EEG: 40000 倍、EOGおよびEMG: 4000 倍）し、バンドパスフィルターに通した（EEG: 0.05-100 Hz, EOG: 0.05-30 Hz, EMG: 5-500 Hz）。

視標を短時間提示するために、シャッターゴーグル（HF-601, HIRUTAME, Japan）を用いた。シャッターゴーグルの液晶パネルは、非通電時に

は乳白色となり外界の視覚情報を遮断するが、通電時には透明になり外界の視覚情報を提示することができる。予告信号として音信号（周波数 2 kHz, 持続時間 50 ms, 閾値上 35 dB）を用い（S1）、その 2 秒後にシャッターゴーグルを開放した（S2）。S1 はイヤホンを通じて提示した。S1 および S2 は、シグナル発生器（WF 1966, NF, Japan）を用いて制御した。視標は新標準近距離単独視標（半田屋製：9 cm×9 cm）を用い、視標面の照度は 400 lx に設定した。後の分析のために、全ての電気信号を、A/D変換器（ADA 16-32/2(CB)F;Contec, Japan）を介して、サンプリング周波数 1000 Hz, 16 ビットの分解能でコンピューター（DimensionE 521;Dell, Japan）に取り込んだ。

手順 Procedure

すべての測定は、シャッターゴーグルを装着し、アースシートを敷いた床の上で両足の内側を 10 cm 平行に離し、顎を顎置き台の上に乘せた立位姿勢にて行った（図 1）。このとき両側の TRA をリラックスするよう指示し、その活動を検者がモニターした。

測定に先立ち、採用する「視標の大きさ」と「シャッター開放時間」を決



図 1 測定風景

A: 視標提示装置, B: シャッター・ゴーグル, C: 銀・塩化銀皿電極, D: 顎乗せ台

定するために、最小分離閾の能力を測定する近見視力検査を実施した。はじめに、各被験者を対象に、視力値「0.1」「0.2」「0.3」「0.4」「0.5」の視標を用い、判別困難な視標を定め、これを判別難視標とした。また、判別難視標よりも視力値として「0.2」低い視標に相当するものを判別容易視標として用いた。次に、シャッターの開放時間を、100-300 msまで100 msごとに変化させて判別難視標の判別課題を行い、3試行の60%以上の正答率となる最小の開放時間を採用した。シャッターの開放時間については、「200 ms以下の短い提示時間の実験では、視線移動をすることなく目標刺激が検出できているとしても大きな間違いはない¹⁷⁾」とされている。

実験試行は、S1-S2課題にて、被験者ごとに定めた2視標およびシャッター開放時間を用いて行った。S1は、検者が試行開始の合図を口頭で出した後に1-2秒ランダムな時間をあけて提示された。シャッターゴーグルの開放(S2)は、S1提示の2秒後とした。

視標判別課題は、オドボール課題に則って行った。視標となるランドルト環の切れ目は、「上」「下」「右」「左」に提示された。「右」の出現頻度を20%とし、提示する切れ目の方向はランダムに設定した。被験者には、ランドルト環の切れ目を口頭で報告させ、「右」が提示された時には、右手の第2指～第5指を素早く屈曲するように指示した。被験者が正しく応答したかどうかを、FCUの活動をモニターし確認した。

実験試行は、判別難視標と判別容易視標を用いる各条件において、アーチファクトのない20試行のデータが得られるまで行った。最初に、判別容易視標の判別課題を行い、3分間の休憩をはさんだ後に、判別難視標の判別課題を行った。

データ分析 Date Analysis

すべてのデータ分析は、BIMUTASIIソフトウェア(Kissei Comtec, Japan)を用いて行った。

17) 塩入論, 前掲書12), p 214.

条件ごとにS1前500 msからS2後3000 msまでのEEG波形を加算平均した。その際、S1前500 ms間の平均電位を加算の基線とした。S1の500 ms前からS2時点までの間に、瞬目または運動によるアーチファクト（EOGおよび各EEG振幅が $\pm 100 \mu\text{V}$ 以上）が認められた試行は分析対象から除外した。CNVは、いずれの被験者においてもCzで最大の振幅を示したのでその波形を分析に用いた。4 Hzのローパスフィルターに相当する111点単純移動平均を用いて加算波形を平滑化した。「前頭部優位に出現する早期CNVの陰性頂点は700 ms前後である¹⁸⁾」。そこで、CNV電位が前期成分から後期成分へと切り替わりうるS1後約700 msで最小値を示し、かつS2時点までに基線を超えて陰性になる加算波形のみを分析対象とした。S1後700 msからS2時点までの区間における最大陰性成分をCNVピークと同定した。条件ごとにCNVピークが認められる被験者数を算出した。基線からピークまでの電位差およびS2からピークまでの時間差を、それぞれCNVピーク振幅およびCNVピーク潜時として算出した。CNVピーク振幅は、電位が陰性の場合を正の値とし、ピーク潜時はピークがS2時点よりも先行する場合を負の値として表わした。加えて、S2直前の100 ms間のCNV平均電位を算出した。この他に、条件ごとに視標判別の正答率を算出した。

統計解析 Statistical analysis

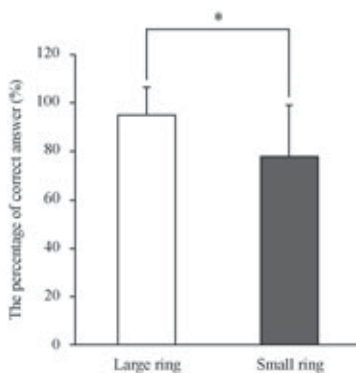
CNVピークが認められた被験者について、正答率の条件間の違いを検討するために、paired t検定を行った。また、CNVピーク振幅およびピーク潜時における条件間の違いを検討するためにpaired t検定を行った。同様に、S2直前の100 ms間のCNV平均電位の条件間の違いをpaired t検定で比較した。有意水準は5%とした。すべての統計は、SPSS 19.0 J (SPSS, Japan)を用いて行った。

18) 前掲書 13), p 96.

結果 Results

実験に用いた判別難視標は、近見視力の視力値が0.5（1名）、0.3（10名）、0.2（1名）に相当する大きさであった。シャッターゴーグル開放時間は、100 ms（10名）、200 ms（1名）、300 ms（1名）であった。目標刺激提示時間が「視線移動をすることなく目標刺激が検出できている」とされている200 msを超える時間の提示が必要だったのは2名であった。

視標判別の正答率は、判別難視標では $77.5 \pm 11.5\%$ 、判別容易視標では $95.0 \pm 21.3\%$ であり、判別が困難な判別難視標の方が有意に低かった（ $t = 2.91$, $p < 0.05$ ）（図2）。



*: $p < 0.05$

図2 視標判別の正答率

判別容易視標 (Large ring) と判別難視標 (Small ring) の正答率の平均値と標準偏差

図3に、課題遂行時のCNVのgrand average波形を示す。CNVピークが、判別難視標の判別課題では11名、判別容易視標の判別課題では8名の被験者に認められ、その差は有意でなかった。

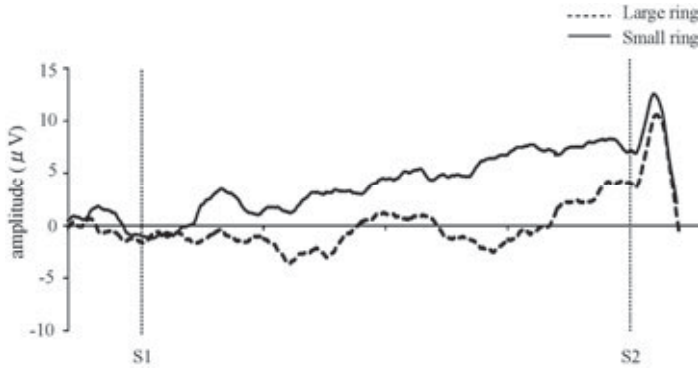


図3 CNVのgrand average波形
判別容易視標(Large ring破線)と判別難視標(Small ring実線)

CNVは、前期成分と後期成分から構成されている。「前期成分は、S1の強度や被験者に与えられる情報に応じて振幅が変化する。後期成分は、S2に向けて増加する陰性電位であり、S2に向けられる注意の量に応じて振幅が増加する¹⁹⁾」。CNV波形の振幅は、被験者の選択的注意を反映する。被験者の注意・集中度が高いほど「振幅」が大きくなり、「潜時」が短いほど、脳内の認知処理時間が速い²⁰⁾。

その振幅は、それぞれ $10.01 \pm 2.31 \mu\text{V}$ および $5.33 \pm 2.64 \mu\text{V}$ であり、判別容易視標よりも判別難視標において有意に大きかった ($t=4.11$, $p<0.001$) (図4)。

一方、CNVピーク潜時には、条件間で有意な差異が認められなかった。

S2直前の100 ms間のCNV平均電位は、判別難視標では $7.43 \pm 3.92 \mu\text{V}$ 、判別容易視標では $2.01 \pm 4.04 \mu\text{V}$ であり、判別容易視標よりも判別難視標の方が有意に大きかった ($t=3.45$, $p<0.01$) (図5)。

19) 前田薫, 随伴陰性変動, Health and Behavior Sciences 9 (2), 2011, p 78.

20) 岡村法宣, 長時間の計算作業による精神疲労が事象関連電位P 300 に及ぼす影響, 産業衛生雑誌 49 (5), 2007, pp 203-208.

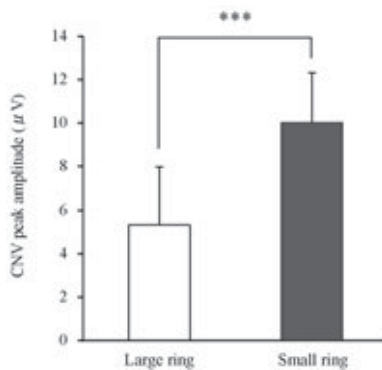
***: $p < 0.001$

図4 CNVピーク振幅

判別容易視標 (Large ring) と判別難視標 (Small ring) のCNVピーク振幅の平均値と標準偏差

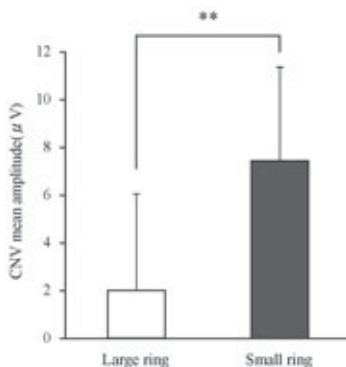
**: $p < 0.01$

図5 S2直前100ms間のCNV平均振幅

判別容易視標 (Large ring) と判別難視標 (Small ring) のS2直前100ms間のCNV振幅の平均値と標準偏差

考察 Discussion

本研究では近業時の注意配分の様相を明らかにするために、判別困難な判別難視標と、視力値にしてそれより0.2低い判別容易視標を判別する課題遂行時のCNVを測定した。CNVは、前頭・中心部電位の集約によりCzで最大

になる。そこで、「判別可能な最小視標」を判別する課題遂行時のCz波形、それより大きい「判別可能な最小視標-0.2」の視標を判別する課題遂行時のCz波形、この2条件の「注意配分の様相の違い」を解析した。そして、「判別可能な最小視標」を判別する場合に、CNV振幅が増大するとの作業仮説の検証を行った。

まず、正当率を比較した。視標判別の正答率は、判別難視標に対しては77.5%、判別容易視標に対しては95.0%であり、判別容易視標よりも判別難視標に対する判別時の方が有意に低かった。すなわち、本研究の刺激設定方法により、近業で判断の困難度が違う課題を設定できたと考えられる。

眼前30 cmに提示された、判断の困難度が違う視標に向けられる注意配分量の様相について、CNVの結果から考察した。後期CNVピークが認められた被験者数は、判別難視標判断時には11名であり、判別容易視標判断時には8名であった。そのCNVピーク振幅およびS2直前の100 ms間の後期CNVの平均電位のいずれも、判別容易視標判断時よりも判別難視標判断時に有意に大きかった。CNVの後期成分は前頭前野、運動野、体性感覚野、大脳基底核を含む皮質および皮質下構造のネットワークを起源とし、S2に対する予測的注意や運動準備を反映する。その振幅はS2に向けられた注意の配分量に伴い増大することが報告されている²¹⁾。

本研究でのCNVの結果から、近業において判別が困難な判別難視標に対しては、判断を行うために多くの注意が配分されていたこと、およびS2提示時点の前にその判断に向けて準備が行われていた可能性が示唆された。

これらの結果から、近見視力検査に用いられる近距離単独視標を使用し、CNVを用いた判別難度の異なる視標に対する注意量の評価を行い、作業仮説「近見視力が強くかわる作業において、判別困難な視標を判別する場合には、CNV振幅が増大する」が認められた。

21) 前掲書 19), p 78.

結論 Conclusions

最小分離閾に近い能力を要する判別難視標と、それより大きい判別容易視標を用いて、近業での視標判断時にそれに向けられる注意配分の様相を、CNVを用いて評価した。判別の困難度が高い判別難視標の判断時には後期CNV電位が有意に大きく、かつ視標提示直前にCNV電位が下がるピークが認められる被験者数も多かった。これらのことから、近業において判別が困難な判別難視標に対しては、判断を行うために多くの注意が配分されていたこと、およびS2提示時点の前にその判断に向けて準備が行われていた可能性が示唆された。

本実験により、近見視力が強くかかわる作業においては、判別の難易度によって注意の配分量が異なり、それは作業能率に影響を及ぼすことが推察された。

謝辞 Acknowledgements

本稿作成に当たりご指導・ご助言をいただきました藤原勝夫教授・外山寛准教授（金沢大学医薬保健研究域医学系）に深謝いたします。また、本実験および実験結果分析にご協力いただきました前川真姫氏（金沢大学大学院医学系研究科）、伊禮まり子氏（大阪保健医療大学保健医療学部リハビリテーション学科）、矢口智恵氏（北海道文教大学人間科学部理学療法学科）に感謝いたします。

本報告は平成24年度科学研究費補助金「課題番号：22500647 研究課題名：情報化社会に求められる小児期の視力検査法のあり方に関する研究」および桃山学院大学特定個人研究費による成果報告である。

参考文献 References

宇津見義一，衛藤隆（編），『学校医・学校保健ハンドブッカー必要な知識と視点のすべて一』（文光堂）2006

- 高橋ひとみ『子どもの近見視力不良—黒板は見えても教科書が見えない子どもたち—』（農山漁村文化協会）2008
- 高橋ひとみ，衛藤隆「近見視力と学習能率の関連（1）」『東京大学大学院教育学研究科紀要』46，2007
- 高橋ひとみ「学校健康診断へ近見視力検査の導入を目指して」『日本眼鏡技術研究会雑誌』71，2007
- 高橋ひとみ，川端秀仁，衛藤隆「健康診断へ近見視力検査を導入する意義と有効性」『日本医事新報』43（25），2007
- 高橋ひとみ，川端秀仁，衛藤隆「近見視力検査の導入に向けて（5）」『眼科臨床紀要』第5巻第5号（日本小児眼科学会）2012
- 高橋ひとみ「近見視力検査の意義，特集：近見視力検査を進めよう—子どもの目を守るために—」『心とからだの健康』第17巻10号（健学社）2013
- 横澤一彦『視覚科学』（勁草書房）2010
- 所敬，吉田晃敏（編）『現代の眼科学改訂版第9版—IT眼症発症のメカニズム—』（金原出版）2009
- 入戸野宏『心理学のための事象関連電位ガイドブック』（北大路書房）2009
- 畑田豊彦，映像情報メディア学会（編）『注意と視覚探索，視覚心理入門—基礎から応用視覚まで—』（オーム社）2006
- 丹羽真一，鶴紀子，CNV『事象関連電位—事象関連電位と神経情報科学の発展—』（新興医学出版社）1997
- Walter WG, Cooper R, Aldridge VJ, McCallum WC., : Contingent negative variation : an electric sign of sensorimotor association and expectancy in the human brain. Nature 203 : 1964.
- 鈴木匡子『視覚性認知の神経心理学』（医学書院）2006
- 前田薫「随伴陰性変動」*Health and Behavior Sciences* 9（2），2011
- 岡村法宣「長時間の計算作業による精神疲労が事象関連電位P 300 に及ぼす影響」『産業衛生雑誌』49（5），2007

（たかはし・ひとみ／法学部教授／2013年12月16日受理）

A Study of the Attention Distribution to Look at the Near:
Evaluation of Attention Directed to a Visual Target
That is Difficult to Distinguish, Using Contingent
Negative Variation

TAKAHASHI Hitomi

Abstract

Purpose : We investigated the effects of Landolt Ring Marker size using contingent negative variation (CNV).

Methods : The subjects were twelve healthy young adults. Before the experiment was carried out, a near visual acuity test was conducted on each subject to ascertain his or her visual ability. Based on this figure, ring markers were determined as either large or small for each particular subject. Small and large ring markers (S2) were placed in front of the subjects, then revealed for 100~500 milliseconds by opening a shutter-goggle two seconds after an auditory warning stimulus (S1) was given. The subjects were required to state verbally the open side of the ring.

Results : A negative peak of CNV was detected 700 milliseconds before the shutter was opened, and was significantly larger with smaller rings than with larger ones. The mean amplitude for 100 milliseconds before the shutter was opened was significantly larger with smaller rings than with larger ones. The percentage of correct responses was significantly lower with smaller rings than with larger ones.

Conclusion : It was found that by using this method it becomes possible to quantify the degree of attention modality directed to a visual target that is difficult to distinguish. The results also suggested the possibility that, even before hearing the warning stimulus, subjects were readying themselves for their response.

Keywords: near visual acuity, a near distance single eye-mark, attention, contingent negative variation